

УДК 674.815-41:613.63

Е.М. Разиньков
(Воронежская государственная
лесотехническая академия)

СПОСОБ ОЦЕНКИ ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ В МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Предложен способ оценки значимости факторов в математических моделях, позволяющий сократить количество входящих в эти модели факторов. Этот способ особенно применим при анализе значимости факторов в моделях, полученных на основании собственных данных и известных результатов исследований.

В своей работе исследователь часто сталкивается с необходимостью использования различных известных математических формул или моделей с довольно большим количеством переменных факторов. При этом получаемые исследователем конечные формулы часто бывают громоздкими, что усложняет расчеты. В этом случае встает вопрос о возможном исключении из конечной формулы незначимых или малозначимых факторов.

В случае получения экспериментальным путем самим автором формулы или уравнения регрессии с несколькими переменными этого вопроса не возникает. Для его решения по известной методике устанавливают значимость коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента. При условии незначимости коэффициента фактор при нем из уравнения исключают.

В случае же "компоновки" конечной формулы, особенно с включением в нее каких-то теоретических формул, указанный вопрос встает и требует своего решения.

Предлагаемый нами способ является одним из вариантов решения указанного вопроса. В основе способа лежит статистически достоверная значимость в математических моделях переменных факторов при принятом исследователем уровне или проценте погрешности результатов выходного параметра. По этому способу малозначимый (в пределах принятого процента погрешности) фактор принимается численным значением как константа, т.е. постоянной. Это значение для каждого такого фактора может находиться только в пределах интервала варьирования фактора.

Реализация способа проходит через несколько этапов.

1. Установление интервала варьирования каждого фактора в физических значениях.

Пусть "скомпонованная" математическая модель включает в себя 17 факторов, каждый из которых варьируется в своих пределах. Например, $X_1=480...660 \text{ кг/м}^3$; $X_2=39...98\%$; $X_3=1...3 \text{ мин}$; $X_4=2...6 \text{ с}$, ..., $X_{16}=170...200^\circ\text{C}$.

2. Нахождение по модели зависимости выходного параметра У поочередно от каждого входящего в нее фактора.

При этом предел варьирования каждого исследуемого фактора разбивается не менее чем на 10 интервалов. Все остальные входящие в модель факторы стабилизируются на своих различных уровнях варьирования (сначала на минимальном, а затем на среднем и максимальном). Результаты можно занести в таблицу следующей формы.

Таблица 1

Зависимость выходного параметра У от входящих в модель факторов

Уровень остальных факторов	У при различных 11 значениях исследуемых факторов										
Минимальный Средний Максимальный	Фактор X_1										
	480	498	516	534	552	570	588	606	624	642	660
	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}
	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6	c_7	c_8	c_9	c_{10}	c_{11}
Минимальный Средний Максимальный	Фактор X_2										
	39,0	44,9	50,8	56,7	62,6	68,5	74,4	80,3	86,2	92,1	98,0
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9	d_{10}	d_{11}
	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}
	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}
	• •										
	Фактор X_{17}										

3. Оценка величины изменения выходного параметра для каждого исследуемого фактора в пределах его интервала варьирования при различных уровнях остальных факторов.

В качестве такой оценки может быть принят процент изменения выходного параметра (η) при изменении значений фактора. Представим, что в табл. 1 были следующие значения Y :

$a_1=0,40$; $b_1=0,39$; $c_1=0,37$; $d_1=0,45$; $R_1=0,36$; $Z_1=0,27$;
 $a_{11}=0,41$; $b_{11}=0,40$; $c_{11}=0,38$; $d_{11}=0,59$; $R_{11}=0,50$; $Z_{11}=0,41$.

Представим себе, что зависимости $Y=F(X_1)$ и $Y=F(X_2)$ линейные. В этом случае в табл. 1 значения Y по мере изменения значения исследуемого фактора и для уравнений остальных факторов модели будут равномерно возрастать или убывать. Тогда величину η , например, для $Y=F(X_1)$ при минимальном уровне остальных факторов определяют, %:

$$\eta = \frac{a_{11} - a_1}{a_{11}} 100. \quad (1)$$

Для нашего случая $\eta=2,43\%$. Результаты заносят в табл. 2.

Таблица 2

Значения величины η

Фактор	Уровень остальных факторов	η , %
X_1	Минимальный	2,43
	Средний	2,50
	Максимальный	2,63
X_2	Минимальный	23,73
	Средний	28,00
	Максимальный	34,15
*	*	
X_{17}		

4. Оценка факторов на предмет их замены в математической модели на постоянные значения.

Оценку можно производить исходя из предельного значения погрешности выходного параметра Y за счет замены в модели одного или нескольких факторов на постоянное значение. Эта погрешность и будет характеризоваться величиной η . Если принять $|\eta| < 3\%$, то из табл. 2 следует, что при таком условии фактор X_1

можно исключить из модели и вместо него подставить в модель любое значение от 480 до 600.

Если в табл. 2 величина будет $|\eta| < 3\%$ для нескольких факторов, например, X_1 , X_3 и X_4 , то в этом случае их можно принять за *Const* при условии, что при любых комбинациях физических значений каждого из этих факторов η не будет больше допустимого значения (3%). Такие комбинации будут определяться корреляцией между собой в модели рассматриваемых факторов (X_1 , X_3 , X_4). При линейной корреляции эти комбинации простые и могут быть взяты из плана полного факторного эксперимента, при нелинейной - более сложные. Зная комбинации физических значений факторов, можно реализовать опыты с окончательным определением величины η .

Представим себе, что корреляция между собой факторов X_1 , X_3 и X_4 линейная. Тогда комбинации для них и реализация опытов могут производиться по табл. 3. Такие таблицы должны составляться отдельно для условий, когда комбинации факторов X_1 , X_3 и X_4 одни и те же, но остальные факторы в модели варьируются отдельно на минимальном, среднем и максимальном уровнях.

Таблица 3
Реализация опытов при возможных комбинациях факторов X_1 , X_3 и X_4

№ опы-та	Факторы и их значения						У, МПа	η, %
	X ₁		X ₃		X ₄			
	Код.	Физ.	Код.	Физ.	Код.	Физ.		
1	-	480	-	1	-	2	У ₁	
2	+	660	-	1	-	2	У ₂	
3	-	480	+	3	-	2	У ₃	
4	+	660	+	3	-	2	У ₄	
5	-	480	-	1	+	6	У ₅ *	
6	+	660	-	1	+	6	У ₆	
7	-	480	+	3	+	6	У ₇	
8	+	660	+	3	+	6	У ₈	

* $Y_5 = Y_{\max}$.

По результатам определяют η , %, по (1):

$$\eta = \frac{Y_{\max} - Y_i}{Y_{\max}} 100, \quad (2)$$

В этой формуле величина η характеризует в модели погрешность в выходном параметре Y за счет представления в ней факторов X_1 , X_3 и X_4 в виде *Const*. После этого определяется среднее арифметическое $\eta_{\text{ср}}$ по всем опытам и таблицам (для различных уровней остальных факторов модели) и сравнивается с допустимой величиной $\eta_{\text{д}}$. Если условие не выполняется, то необходимо из рассматриваемых факторов (X_1 , X_3 , X_4) убрать один или несколько из них и снова возвратиться к реализации опытов по табл. 3, но уже с другими комбинациями значений факторов. Иногда, если указанное выше условие не выполняется, целесообразно уменьшить (снизить) предел варьирования рассматриваемых факторов до наиболее реальных в технологии значений и затем снова возвратиться к реализации табл. 3 при тех же комбинациях значений факторов.

Если выполняется условие $|\eta_{\text{ср}}| < |\eta_{\text{д}}|$, то в модель вместо факторов X_1 , X_3 , X_4 можно подставить значения соответственно 500 кг/м³, 2 мин, 4 с. Таким образом, в модели вместо 17 факторов останется 14. При этом различие в значениях выходного параметра Y , полученного по первоначальной укороченной математической модели, можно оценить определенной, но допустимой погрешностью.

Представленную методику применяли для упрощения математической модели, описывающей предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти (σ_p) древесностружечной плиты (ДСтП). В эту модель входит 16 основных технологических факторов, каждый из которых может варьировать в своих пределах. К таким факторам относятся: плотность древесного сырья, из которого изготовлена стружка ($\rho_{\text{д}}=480\ldots660$ кг/м³); влажность древесного сырья ($W_{\text{с}}=39\ldots98\%$); длина ($l_{\text{с}}=5\ldots31$ мм), ширина ($b_{\text{с}}=3\ldots6$ мм) и толщина ($h_{\text{с}}=0,25\ldots0,80$ мм) стружки; содержание отвердителя ($C_{\text{о}}=0,2\ldots2,0\%$); плотность ДСтП ($\rho_{\text{п}}=500\ldots800$ кг/м³); содержание связующего ($C=10,0\ldots12,4\%$); влажность ДСтП ($W_{\text{п}}=5\ldots12\%$); плотность древесного вещества ($\rho_{\text{дв}}=1530$ кг/м³); плотность отвержденной массы связующего в ДСтП ($\rho_{\text{сс}}=1480\ldots1570$ кг/м³); площадь

осмоления стружки ($S_{осм}=40...60\%$); давление ($P_n=2,0...3,3$ МПа), температура ($t_n=150...200^\circ\text{C}$) и продолжительность ($t_n=2,3...11,0$ мин) прессования; продолжительность прогрева стружечного пакета ($t_{пр}=1,0...6,0$ мин). Это уравнение довольно сложное и приведено в работе*.

Предварительный анализ величины σ_p от влияния каждого из 16 факторов показал, что такие факторы, как C_o , b_c , $S_{осм}$, W_n и $t_{пр}$ оказывают на искомую величину незначительное влияние (до 5%) при изменении их с минимального до максимального уровня варьирования (хотя сами они оказывают на искомую величину существенное влияние). Но это влияние факторов до 5% выполняется в более узких (но наиболее реальных при изготовлении ДСтП) пределах варьирования приведенных выше факторов: $C_o=0,8...1,0\%$; $b_c=3...6$ мин; $S_{осм}=40...50\%$; $W_n=6...10\%$ и $t_{пр}=1,5...2,9$ мин. Таким образом, в развернутую модель из 16 факторов вместо указанных 5 факторов можно было бы подставить постоянные значения (например, средние арифметические). При этом в указанной модели вместо 16 осталось бы только 11 факторов. Влияние исключенных 5 факторов в укороченной модели учтено. Однако, чтобы сделать такой вывод научно обоснованным с точки математической статистики, необходимо было провести расчеты по предлагаемой выше методике (по 4 этапам).

Для того, чтобы правильно установить комбинации значений вышеуказанных исследуемых 5 факторов, был проведен корреляционный анализ всей (развернутой) математической модели. Анализ показал, что корреляция между всеми 5 факторами существует, на что указывают значения коэффициента корреляции, корреляционного отношения и меры линейности (табл. 4).

Корреляционная связь между этими факторами линейная. Это значит, что комбинации значений исследуемых 5 факторов можно принимать как при планировании ПФЭ=2⁵. При всех этих

* Разиньков Е.М. Оптимизация процесса получения древесно-стружечных плит заданной прочности// Дис....д-ра техн. наук. Воронеж, 1994.

Таблица 4

Корреляционная связь исследуемых факторов

Фактор	Корреляционные характеристики для факторов на различных уровнях варьирования					
	Минимальный уровень			Максимальный уровень		
	Коэффициент корреляции	Корреляционное отношение	Мера линейности	Коэффициент корреляции	Корреляционное отношение	Мера линейности
C_o	0,8283	0,9436	1,43	0,8209	0,94	1,44
b_c	-0,9090	0,9699	1,12	0,9084	0,97	1,13
S_{ocm}	-0,9040	0,9641	1,14	0,8660	0,95	1,31
W_{II}	0,9080	0,9700	1,13	-0,6380	0,90	2,09
t_{np}	-0,8659	0,9543	1,33	-0,9090	1,97	1,12

32 комбинациях была рассчитана величина σ_p при минимальном и максимальном уровнях остальных факторов. Результаты показали, что независимо от комбинаций исследуемых факторов величина σ_p изменяется в пределах 5%. Это позволяет заключить, что исследуемые 5 факторов в развернутой модели можно заменить на постоянные в пределах их уровня варьирования.

УДК 674.038.3:674.213:692.5

Ю.И. Ветошкин, Г.Г. Говоров, А.Г. Антонов
(Уральская государственная лесотехническая академия)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ
МЯГКИХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ШТУЧНОГО ПАРКЕТА**

Изучена возможность модификации древесины осины и березы путем пропитки полиакриламидом с последующей сушкой и уплотнением. Высокие физико-механические показатели модифицированной древесины, превышающие показатели дуба, позволяют рекомендовать ее для использования в производстве штучного паркета.

В настоящее время в строительной и деревообрабатывающей отраслях существует ряд проблем. Одной из них можно считать